TP5- ETUDE DU SPECTRE D'EMISSION D'UNE SOURCE POUR L'ECLAIRAGE

PRESENTATION

Sujet

Utiliser un monochromateur et un radiomètre/luxmètre pour étudier la distribution spectrale en émission d'une LED blanche d'éclairage.

Objectifs

- Mesures d'éclairement énergétique en $W.m^{-2}$ et d'éclairement lumineux en lux.
- Comprendre la spécificité de la vision humaine (sensibilité spectrale comparée œil – radiomètre – luxmètre).
- Savoir utiliser un système optique complexe : le monochromateur.
- Récupérer, traiter et analyser des données par informatique.
- Comprendre l'influence de la distribution spectrale d'une source de lumière.

Consignes et sécurité

- **Le matériel optique <u>ne DOIT jamais</u> tomber !**
  Penser à serrer les vis des cavaliers sur le banc optique.
- **En fin de TP**, penser à arrêter **TOUS** les appareils, y compris le « luxmètre ».

Plan du TP

1- Utiliser un monochromateur p 2
2- Réponse du radiomètre au rayonnement de la LED en fonction de λ p 4
3- Réponse du luxmètre au rayonnement de la LED en fonction de λ p 7
4- Analyse métrologique p 8
5- Maquette d'un monochromateur p 9

Annexes :
Version en couleur accessible par le raccourci : « Pour les TP » sur le bureau du PC
A1- Liste du matériel utilisé p 9
A2- Utilisation du luxmètre HD2102-2 et du logiciel Delta-Log9 p 10
A3- Caractéristiques des sondes radiométrique et photométrique LP741 p 13
A4- Caractérisation de la vision de l'œil standard CIE p 15
A5- Caractéristiques d'un module LASER vert à 532 nm oVio-optics p 16
A6- Luminance spectrique d'une lampe à incandescence à halogène p 17
A7- Exécution d'une macro dans CALC p 18

0- TRAVAIL PREPARATOIRE à faire avant le TP

Le texte du TP en couleur, ses annexes complètes et les logiciels de simulation sont accessibles sur Internet par http://mpsn.free.fr

- Lire attentivement le texte de TP,
  tout particulièrement les paragraphes §1.1 et §2.5
- Si vous en avez, revoir vos notes de Cours de lycée sur le **réseau optique**.

Ouvrir le **dossier « MesDocs »** (situé dans la partition E: du PC). Il contient le fichier de travail « tp5_travail.ods » pour tableur CALC, le texte complet du TP en couleur avec ses annexes ainsi que la fiche décrivant la LED au format pdf. Les logiciels utiles au TP sont disponibles sur la **barre des tâches**.

1- UTILISER UN MONOCHROMATEUR

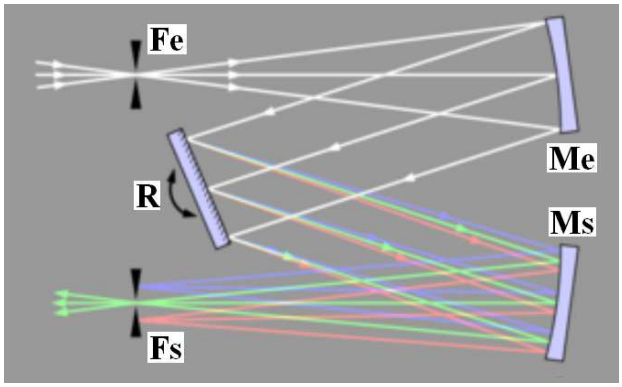
1.1- Principe du monochromateur

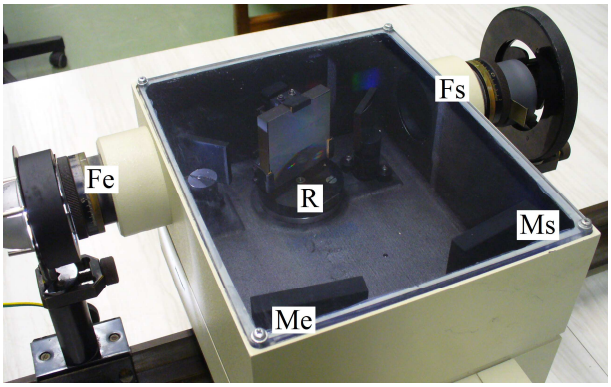
- Un **réseau** plan R est un composant optique qui **disperse la lumière** selon la longueur d'onde λ (les lumières quittent le réseau dans des directions différentes selon λ , c'est-à-dire leur couleur).

- La lumière à analyser éclaire la fente d'entrée Fe. Cette fente sert d'objet au miroir sphérique d'entrée Me pour produire le faisceau de lumière parallèle éclairant le réseau R sous incidence constante.
- Le réseau sépare géométriquement les différentes composantes colorées de la lumière.
- Le miroir sphérique Ms redirige les lumières du spectre vers la sortie.
- La fente de sortie Fs ne laisse passer qu'une petite partie du spectre centrée sur la valeur λ (élément du spectre de largeur Δλ).

→ le réglage de la position du réseau sélectionne la couleur λ disponible en sortie.

- Une **rotation du réseau à vitesse constante fait varier** λ en sortie à **dλ/dt constant**. Ce défilement régulier des couleurs au cours du temps permet d'enregistrer un spectre.





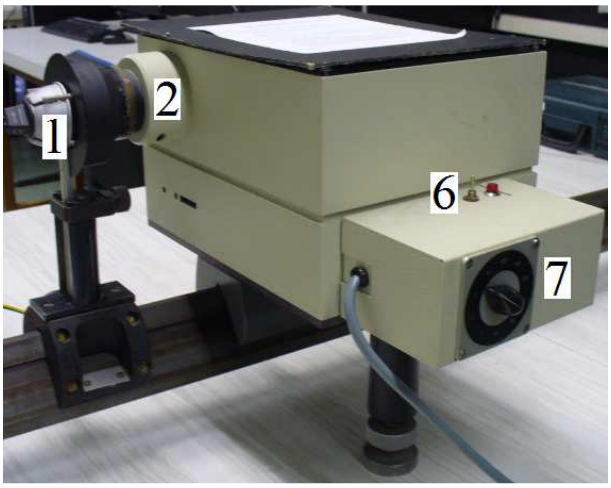
- Il faut régler les fentes **Fe et Fs** avec une **largeur identique** (cf. théorie du monochromateur).

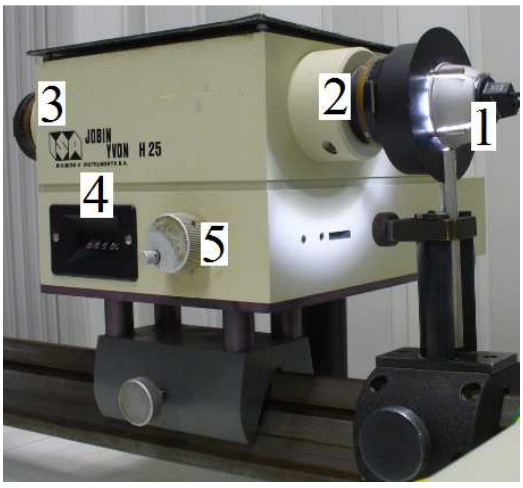
- Δλ devrait être le plus petit possible → réduire la largeur de Fe et Fs.
- Mais si Fe et Fs sont trop fermées, il n'y a plus assez de lumière en sortie → compromis nécessaire !

1.2- Description du matériel utilisé

LED d'éclairage : prévention et sécurité

- Une **LED blanche d'éclairage** (1) produit un faisceau de lumière en continu.
- **Ne pas modifier les réglages** de l'alimentation électrique de la LED (environ 11,5 V).





Monochromateur H25 par Jobin-Yvon :

- L'intérieur de l'appareil est visible à travers la face supérieure en plexiglas (cache-lumière en carton).
- La lumière de la **LED (1)** entre par la **fente d'entrée (2),** est dispersée par le réseau tournant (R) et sort par la **fente de sortie (3).**
- La longueur d'onde de la couleur disponible en sortie est indiquée sur **l'afficheur (4)** en $1/10^{ième}$ de nm (c'est à dire en Å mais **utiliser uniquement le nm** : 1 nm = 10 Å).

La **molette (5)** est associée à la rotation du réseau : si elle tourne, la longueur d'onde change et réciproquement.

Mode manuel

- Travailler **moteur électrique** de défilement **arrêté** (6).
- **Sélecteur de vitesse de défilement débrayé** (7) : le placer sur une des positions intermédiaires située entre deux indications de vitesse.

→ Réglage de λ à la main **sans forcer** à l'aide de la molette (5).

Le moteur, muni d'une boîte de vitesse, permet la rotation continue du réseau afin de balayer le spectre de la source à vitesse réglable. L'**interrupteur/inverseur** (6) permet d'arrêter ou de choisir le **sens de défilement** en λ (c'est à dire le sens de rotation du moteur).

Mode automatique

- sélecteur (7) réglé sur 100*10 Å/min = **?** $nm.s^{-1}$
- choix du sens de défilement avec l'interrupteur (6).

→ **NE PLUS TOUCHER la molette à la main** (5)
(risque réel pour la boîte de vitesse : pignons nylon !)

1.3- Estimation de la plage « visible »

$1^{ère}$ utilisation du monochromateur avec votre enseignant.

Travailler en **Mode manuel** :
- Moteur électrique **arrêté** (6).
- Sélecteur (7) entre deux graduations → « **vitesse débrayée** ».
- Régler les deux **fentes d'entrée et de sortie à 0,8 mm.**
- Placer la LED devant la fente d'entrée (2), avec son cache en plastique noir.
- Mettre l'alimentation de la LED en marche.

- Observer le faisceau de lumière dans l'appareil à travers le plexiglas.

Q1.3- Balayer manuellement le spectre de la lampe : commencer par la limite Rouge/IR, (vers 700-800 nm) finir par la limite Violet/UV (vers 350-400 nm).
Déterminer approximativement en nm la plage de longueurs d'onde visibles par l'œil.

Attention : remarquer qu'aux extrémités du spectre visible, on peut observer à l'œil, en sortie du monochromateur, un petit spectre supplémentaire correspondant à un reflet parasite : il ne faut pas tenir compte évidemment…

Information : le test d'étalonnage pratiqué ultérieurement au §4.1 montrera que le monochromateur est correctement étalonné.

2- REPONSE DU RADIOMETRE AU RAYONNEMENT DE LA LED EN FONCTION DE λ

Principe de l'expérience proposée :

- Une lampe d'éclairage à LED émet un faisceau de lumière « blanche » concentré sur la fente d'entrée du monochromateur. Il éclaire le réseau qui forme un spectre coloré.
- Utilisé en mode automatique, le moteur électrique et sa boîte de vitesse font pivoter lentement le réseau : le spectre défile devant la fente de sortie.
- L'**éclairement** dû à l'élément de spectre sélectionné par la fente de sortie est mesuré par la sonde RAD (utilisation de l'appareil en **radiomètre**).
- Pendant le défilement du spectre, le système mesure une valeur toutes les secondes. Une fois l'enregistrement terminé, on exporte l'ensemble des valeurs vers l'ordinateur. On les transfère ensuite dans une feuille de calcul de tableur afin de les exploiter.

→ Cet enregistrement au cours du temps peut être converti en graphe E(λ) parce que le défilement a été régulier (**dλ/dt** constant).

2.1- Prise en main du « luxmètre » et du logiciel

- Brancher la sonde **LP 471 RAD** et mettre en marche le HD2102-2 (ON/OFF).

- Celui-ci se règle **automatiquement** en radiomètre et indique l'unité $W.m^{-2}$ (sous la forme incorrecte W/m^2)**.**

- Prendre en main le système de mesure en faisant sans traîner l'**exercice d'acquisition décrit dans l'Annexe 2.**

2.2- Réponse spectrale du radiomètre au rayonnement de la LED

Préréglage du montage :

- « Déconnecter » le « **luxmètre »** dans le logiciel DeltaLog9.

- Le **moteur du monochromateur est à l'arrêt et débrayé**.
- Conserver la largeur des fentes d'entrée et de sortie : **0,8 mm**.
- Placer devant la fente de sortie le **capteur LP 471 RAD** avec le **cache-lumière** gris ; HD2102-2 est en marche.
- Placer soigneusement le cache en carton sur le dessus du monochromateur.

Réalisation de l'enregistrement :

- Régler manuellement **λ ≈ 350 nm**

- **Régler la vitesse du moteur à 1000 Å/mn (= ? $nm.s^{-1}$) ce qui embraye le moteur.**

- Mettre en route le moteur avec **λ croissant**.
- **Commencer** l'acquisition en pressant la touche « LOG » lorsque **λ = 400 nm pile**.
- **Arrêter** l'acquisition en pressant à nouveau la touche « LOG » lorsque **λ = 750 nm pile.**
- **Arrêter le moteur** du monochromateur **et débrayer de suite** le moteur avec le rotacteur**.**

- Reconnecter le luxmètre dans DeltaLog9.
- Transférer la série de données vers le PC avec le logiciel DeltaLog9.
- Exporter vos mesures au format Excel **en enregistrant « Mesures_RAD_VotreNom.xls » dans le dossier « MesDocs »**.

- Remettre **λ ≈ 350 nm** pour une seconde série de mesures ultérieures (voir §3.3).

Exploitation de l'enregistrement de E_{rad} :

- Ouvrir le classeur « tp5-travail.ods » disponible dans le dossier « MesDocs ». Renommer ce fichier « tp5-travail-votre_nom.ods ».

- Copier les deux colonnes utiles de votre fichier de mesure dans les colonnes A et B de la feuille « Export DeltaLog » (la première ligne doit contenir les titres : Export RAD et Erad).

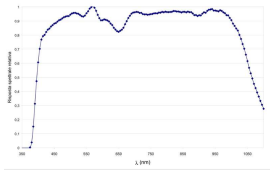
Votre série de valeurs mesurées $E_{rad}(\lambda)$ a été recopiées dans la colonne C de la feuille « Traitement RAD ». Dans cette feuille, la colonne A contient les valeurs en seconde des dates d'enregistrement, en commençant à 0 en début d'enregistrement.

*Q2.2- Compléter la colonne B « lambda en nm » **en précisant la formule employée**. Ajuster le nombre de lignes des colonnes A et B à votre nombre de mesures.*
Si vous avez respecté les consignes, votre première valeur devrait être 400 nm et la dernière 750 nm.
Vérifier que les valeurs que vous avez calculées colonne B (sur la base de la vitesse de défilement du réseau utilisée en $nm.s^{-1}$) sont cohérentes avec ces bornes.

2.3- Courbe de référence de la sonde RAD : $V_{rad}(\lambda)$

Observer la courbe de référence pour la sonde RAD, disponible dans la feuille « Graphe RAD » de votre classeur « tp5-travail-votre_nom.ods ».

Elle décrit comment le « radiomètre » réagit aux différentes composantes colorées de la lumière mesurée : le signal produit n'est pas le même selon λ.



Cf. Annexe A3

La courbe représente la **sensibilité spectrale relative** du détecteur RAD, notée **$V_{rad}(\lambda)$,** dont les **valeurs en ordonnée sont comprises entre 0 et 1** (soit 0% / 100%). En mathématique une telle courbe est dite « **normalisée** ».

La courbe proposée dans le tableur est **restreinte à la plage de mesure [400 nm ; 750 nm] : s**ur cette plage, on remarque que $0{,}6 < V_{rad}(\lambda) \leq 1$ **.**

2.4- Visualisation des mesures Erad normalisées

Il devient donc nécessaire de disposer d'une série normalisée de valeurs de mesures dans la feuille « Traitement RAD » : Erad normalisé = Erad / Erad max

Q2.4a- Déterminer la valeur max de vos mesures, soit Erad max, en adaptant la formule de la cellule L1 (la cellule L1 a été « nommée » : Eradmax).
Compléter la colonne D « Erad normalisé » en divisant chacune de vos mesures de Erad par la valeur max (utiliser soit le nom de la cellule, soit L1…) ; les résultats seront automatiquement compris entre 0 et 1.

Q2.4b- La série de données « Erad normalisé » est automatiquement mise à jour dans le graphe correspondant de la feuille « Graphes RAD».
Ne pas imprimer le graphe mais le commenter.

2.5- Nécessité d'une correction : analyse théorique

Analyse de la mesure d'éclairement énergétique Erad :

Pendant l'enregistrement réalisé précédemment :

- Le flux énergétique $F_{LED}(\lambda)$ (en W) entrant dans le monochromateur est fourni par la LED ; il dépend des propriétés spectrales de la LED en émission.

- Le flux sortant du monochromateur et arrivant sur la sonde est $F_{reçu}(\lambda) = M \times F_{LED}(\lambda)$ où M est l'atténuation (sans unité) lors du passage à travers le monochromateur.

- L'éclairement énergétique mesuré en sortie par le radiomètre est :

$$E_{rad}(\lambda) = V_{rad}(\lambda) \times E_{reçu}(\lambda) = V_{rad}(\lambda) \times \frac{F_{reçu}(\lambda)}{A} = V_{rad}(\lambda) \times \frac{M \times F_{LED}(\lambda)}{A}$$

où A est la surface du détecteur et $V_{rad}(\lambda)$ la sensibilité spectrale relative du radiomètre.

- Pour calculer les valeurs normalisées de E_{rad} , on a besoin d'exprimer la valeur maximale $E_{rad\,max}$

Si on note $\lambda^* \approx 455$ nm (le pic bleu de la LED sur le graphe des mesures) pour laquelle $E_{rad}(\lambda^*)$ est le maximum, alors $E_{rad\,max}(\lambda) = E_{rad}(\lambda^*) = V_{rad}(\lambda^*) \times \frac{M \times F_{LED}(\lambda^*)}{A}$

- On calcule alors l'éclairement normalisé :

$$E_{\text{rad normalisé}}(\lambda) = \frac{E_{\text{rad}}(\lambda)}{E_{\text{rad max}}(\lambda)} = \frac{E_{\text{rad}}(\lambda)}{E_{\text{rad}}(\lambda^*)} = \frac{\frac{V_{\text{rad}}(\lambda)\times M\times F_{\text{LED}}(\lambda)}{A}}{\frac{V_{\text{rad}}(\lambda^*)\times M\times F_{\text{LED}}(\lambda^*)}{A}} = V_{\text{rad}}(\lambda)\times\frac{F_{\text{LED}}(\lambda)}{V_{\text{rad}}(\lambda^*)\times F_{\text{LED}}(\lambda^*)}$$

Evidemment on vérifie que $E_{\text{rad normalisé}}(\lambda^*) = \frac{E_{\text{rad}}(\lambda^*)}{E_{\text{rad}}(\lambda^*)} = 1$ …

→ On voit donc que $E_{\text{rad normalisé}}$ utilisé pour étudier le spectre d'émission de la LED dépend explicitement de la sensibilité du radiomètre $\mathbf{V_{rad}(\lambda)}$ qui n'est pas une constante !

Rappel : la courbe de référence indique $0{,}6 < \mathbf{V_{rad}(\lambda)} \leq 1$ sur la plage de mesure [400 n m ; 750 nm]

→ Il faut donc « corriger » pour que les résultats ne dépendent plus de $V_{rad}(\lambda)$, donc de la sonde RAD utilisée.

Correction de l'éclairement mesuré

La correction consiste simplement à diviser la mesure précédente par la sensibilité $V_{rad}(\lambda)$. En effet :

$$E_{\text{rad normalisé corrigé}}(\lambda) = \frac{E_{\text{rad normalisé}}(\lambda)}{V_{\text{rad}}(\lambda)} = \frac{V_{\text{rad}}(\lambda)}{V_{\text{rad}}(\lambda)}\times\frac{F_{\text{LED}}(\lambda)}{V_{\text{rad}}(\lambda^*)\times F_{\text{LED}}(\lambda^*)} = \frac{F_{\text{LED}}(\lambda)}{V_{\text{rad}}(\lambda^*)\times F_{\text{LED}}(\lambda^*)}$$ sans unité.

→ On constate alors que $E_{\text{rad normalisé corrigé}}$ est simplement proportionnel à $F_{LED}(\lambda)$. Cette courbe pourra donc être considérée comme représentative du spectre d'émission de lumière de la LED.

2.6- Spectre d'émission de la LED après correction

Valeurs de $V_{rad}(\lambda)$ nécessaires pour la correction

- La série de valeurs disponibles de $E_{\text{rad normalisé}}$ correspond, ligne à ligne dans la feuille du tableur, à la **série des valeurs de λ de la colonne B.**
→ Il faut donc disposer des valeurs correspondantes de $\mathbf{V_{rad}(\lambda)}$ pour la même série de valeurs de **λ.**

On ne dispose pas a priori de ces valeurs. La colonne E de la feuille « référence » montrent les 70 valeurs particulières ayant servi à tracer la courbe de référence de la sonde RAD.

Pour calculer les 200 (et quelques) valeurs numériques nécessaires, on procède à une série d'**interpolations linéaires :** pour une valeur particulière de λ, on prend les deux valeurs de la série de référence qui l'encadrent en étant les plus proches, soit $\lambda_{inf} < \lambda < \lambda_{sup}$; puis on calcule la valeur $\mathbf{V_{rad}(\lambda)}$ intermédiaire entre $V_{rad}(\lambda_{inf})$ et $V_{rad}(\lambda_{sup})$ en considérant que V_{rad} varie comme sur un segment de droite.

Le calcul de cette série de valeurs $\mathbf{V_{rad}(\lambda)}$ se fait à l'aide d'un programme (appelé « Macro » dans le langage des tableurs) accessible dans la feuille « interpolation » du dossier de travail et qu'il faudra exécuter selon la procédure particulière suivante.

Procédure d'interpolation :

- Sélectionner toute la colonne B de la feuille « traitement RAD » en cliquant sur B, puis copier en bloc votre série de valeurs de λ.
- Sélectionner la cellule C1 de la feuille « interpolation » et coller en bloc les valeurs de λ.
- Exécuter la macro « f_interpolation » avec le raccourci clavier : **Ctrl+Maj+M**

Ou alors par le Menu : Outils/Macros/Exécuter la macro… Cela prend un peu de temps : suivre l'avancée du calcul sur le graphe.
- Copier la colonne D contenant les valeurs $\mathbf{V_{rad}(\lambda)}$ interpolées.
- Coller en bloc ces valeurs dans la colonne E de la feuille « traitement RAD ».

Technique CALC pour les macros : voir l'Annexe 7

Q2.6a- Obtenir dans la colonne E de la feuille « Traitement RAD » la série de valeurs nécessaires de « Vrad interpolée » en exécutant la macro (suivre la procédure précédente).
Q2.6b- Compléter la colonne F « Erad normalisé corrigé » en divisant chaque valeur d'éclairement « Erad normalisé » par la valeur correspondante « Vrad interpolée ».
Q2.6c- Ajouter la série de données « Erad normalisé corrigé » au graphe de la feuille « Graphes RAD ». Imprimer le graphe. Commenter ces graphes en détail (vous pouvez annoter cette impression à la main).

3- REPONSE DU LUXMETRE AU RAYONNEMENT DE LA LED EN FONCTION DE λ

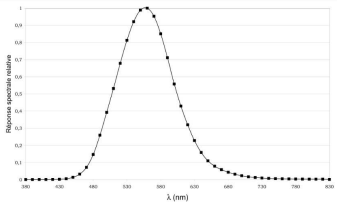
3.1- Courbe de référence de la sonde PHOT : $V_{phot}(\lambda)$

Observer la courbe de référence pour la sonde PHOT disponible dans la feuille « Graphe PHOT » de votre classeur « tp5-travail-votre_nom.ods ».

Le « luxmètre » est conçu pour réagir « comme l'œil humain » aux différentes composantes colorées de la lumière dite « visible ».

La courbe proposée est évidemment restreinte **au visible !**
Soit la même plage de mesure [400 nm ; 750 nm].

La courbe représente la **sensibilité spectrale relative** du détecteur PHOT notée $\mathbf{V_{phot}(\lambda)}$. La courbe est « **normalisée** », les valeurs en ordonnée étant comprises entre 0 et 1.



Cf. Annexe A3

Q3.1- Comparer la courbe de sensibilité spectrale de la sonde PHOT du luxmètre à celle de l'œil standard CIE 1978 (norme internationale publiée par la CIE : Commission Internationale d'Eclairage)

Voir éventuellement l'annexe A4 pour plus de détails sur les unités et l'œil CIE.

3.2- Prévision de la réponse du luxmètre au rayonnement de la LED

- On considère que la série de valeurs « Erad normalisé corrigé » (obtenue à la question Q2.6-) est représentative du spectre d'émission de la LED.
- Lorsque $V_{phot}(\lambda)$ vaut par exemple 40% = 0.4 , cela signifie que le luxmètre (comme l'œil) ne semble « voir » que 40% du flux reçu.
- On calculera donc l'éclairement lumineux prévu comme $E_{lux} = E_{rad\ normalisé\ corrigé} \times V_{phot}(\lambda)$

Remarque : la série de valeur de $V_{phot}(\lambda)$ a été calculée par interpolation en même temps que celle de la sonde RAD lors de l'exécution de la macro (Q2.6a). Elle est recopiée dans la colonne G « Vphot interpolée » de la feuille « traitement RAD ».

Q3.2a- Compléter la colonne H en calculant les valeurs de « Elux prévu ».
Q3.2b- Utiliser la valeur max de « Elux prévu ». Compléter la colonne I en calculant les valeurs normalisées « Elux prévu normalisé ».
Q3.2c- Ajouter la série de valeurs « Elux prévu normalisé » au graphe de la feuille « Graphes PHOT ».
Ne pas imprimer le graphe (attendre la question Q3.3c)

3.3- Réponse du luxmètre au rayonnement de la LED

Préréglage du montage :

- « Déconnecter » le « **luxmètre »** dans le logiciel DeltaLog9.

- Conserver la largeur des fentes d'entrée et de sortie : **0,8 mm**.

- Eteindre le « luxmètre » HD2102-2 puis changer de sonde en connectant la sonde **LP 471 PHOT.**
- Mettre ensuite en place la sonde **LP 471 PHOT** sur le support devant la fente de sortie sans oublier le **cache-lumière** gris.
- Replacer soigneusement le cache en carton sur le dessus du monochromateur.
- Remettre en marche le luxmètre HD2102-2 .

Réalisation de l'enregistrement :

- **Vérifier que le moteur est débrayé** puis régler manuellement **λ ≈ 350 nm.**
- **Embrayer en tournant le rotacteur : vitesse du moteur à 1000 Å/mn.**

- Mettre en route le moteur avec **λ croissant**.
- **Commencer** l'acquisition en pressant la touche « LOG » lorsque **λ = 400 nm pile**.
- **Arrêter** l'acquisition en pressant la touche « LOG » lorsque **λ = 750 nm pile.**
- **Arrêter le moteur et débrayer de suite avec le rotacteur.**

- Reconnecter le luxmètre dans DeltaLog9.
- Transférer les séries de données vers le PC dans le logiciel DeltaLog9.
- Sélectionner le bon « Report » puis exporter vos mesures PHOT au format Excel **en enregistrant « Mesures_PHOT_VotreNom.xls » dans le dossier « MesDocs »**.

Exploitation de l'enregistrement de E_{lux} :

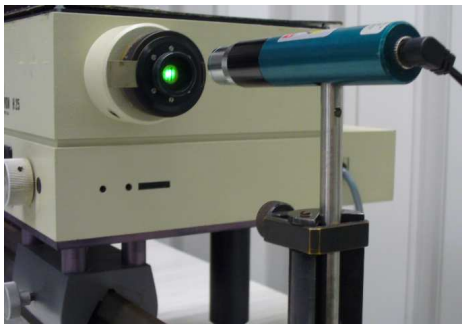
- Copier les deux colonnes utiles de votre fichier **« Mesures_PHOT_VotreNom.xls »** dans les colonnes D et E de la feuille « Export DeltaLog » (la première ligne doit contenir les titres : Export PHOT et Elux).

Vous retrouvez votre série de valeurs mesurées $E_{lux}(\lambda)$ recopiées dans la colonne C de la feuille « Traitement PHOT ».
Dans cette feuille, la colonne A contient les valeurs en seconde des dates d'enregistrement, en commençant à 0 en début d'enregistrement.

Q3.3a- Compléter la colonne B « lambda en nm ». Ajuster le nombre de lignes des colonnes A et B à votre nombre de mesures.
Q3.3b- Déterminer « Elux max » puis compléter la colonne D avec les valeurs « Elux normalisé ».
Q3.3c- Ajouter la série de données « Elux normalisé » au graphe de la feuille « Graphes PHOT ».
Imprimer le graphe. Commenter ces graphes en détail (vous pouvez annoter cette impression à la main).

4- ANALYSE METROLOGIQUE

4.1- Etalonnage du monochromateur



- Travailler en **Mode manuel** : moteur électrique **arrêté et débrayé** (sélecteur placé entre deux graduations).

- **Fentes d'entrée et de sortie : 0,8 mm.**

- Placer le laser vert devant l'entrée. Eclairer la fente d'entrée avec le faisceau laser élargi par l'objectif de microscope.

- Suivre le trajet de la lumière dans le monochromateur, de l'entrée vers la sortie.
- **Régler manuellement λ ≈ 532 nm** (5320 Å). Observer en sortie la lumière verte sur un écran.

Q4.1- Rechercher précisément l'intervalle de longueur d'onde pour lequel on voit « du vert » en sortie. En prenant la valeur centrale de l'intervalle comme mesure de $\lambda_{laser\ vert}$, estimer l'écart de justesse avec la valeur de référence (λ_{ref} = 532,0 nm).
Pour les mesures précédentes réalisées avec ce monochromateur, une correction de justesse est-elle nécessaire ?

4.2- Résolution et incertitude en longueur d'onde

Q4.2a- Estimer la résolution en longueur d'onde de vos séries de mesures réalisées avec HD2102-2. Justifier.

Q4.2b- Estimer les temps de réaction lors des déclenchements de l'enregistrement (Appuis sur touche « LOG »). En déduire une estimation de l'incertitude qui en découle sur les valeurs de longueur d'onde mesurées lors des enregistrements.

En fin de TP arrêter tous les appareils, y compris le luxmètre !

5- MAQUETTE D'UN MONOCHROMATEUR

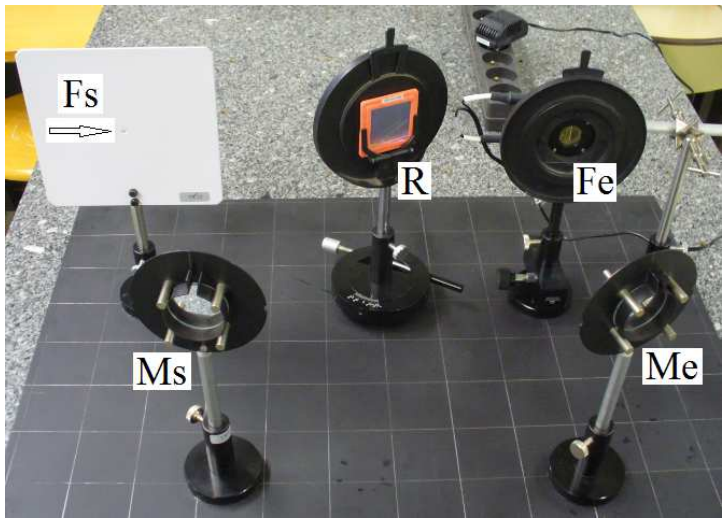
Consulter votre enseignant.

Selon le temps qui vous reste, tester la maquette reproduisant la structure du monochromateur utilisé pendant le TP disponible dans la salle. Le montage est réalisé avec des composants optiques séparés.

- Tester la forme des faisceaux de lumière à l'aide d'un écran fait d'un petit morceau de papier.

- Tester l'effet de la rotation du réseau R (réseau par réflexion avec 1200 tr/mm)

Il se peut que la partie mobile du support de réseau bloque un peu.



ANNEXES

Annexe A1- Liste du matériel utilisé

Matériel utilisé

Sur table

- Un banc optique > 1.50m, 3 cavaliers, un support porte-lentille comme support de sonde
- Un radiomètre-luxmètre Delta-Ohm HD2102-2 et ses deux sondes LP471 RAD et PHOT
- Un monochromateur analogique JOBIN-YVON et 2 caches-lumière plastiques
- Une lampe LED d'éclairage 12 V – 6.5 W (Verbatim MR16 GU5.3 6.5W 4200 K Neutral White 275LM DIM) et sa source de tension régulée
- Un laser vert avec expansion de faisceau : objectif 10 / 0.25
- Texte de TP et Annexes incluant les fiches techniques des divers composants et le mode d'emploi du HD2102-2 et du logiciel DeltaLog9

Variantes :
- Une lanterne avec lampe incandescente halogène 10 V - 100 W (même source de tension régulée)
- Un spot halogène dichroïque 12 V - 50 W (même source de tension régulée)

Matériel informatique et logiciels utilisés

- Un ordinateur PC « MP-OPTIQUE2 » (win7) avec logiciels DeltaLog9 et Microsoft EXCEL (97 ?)
- Un câble de liaison série USB/miniUSB
- Un accès à l'imprimante réseau
- Documentation pdf de HD2102-2 et LED
- Fichier de travail pour tableur CALC avec macro de double interpolation
- Texte TP pdf

Annexe A2- : Exercice d'acquisition avec « luxmètre » et logiciel delta-log9

A FAIRE SANS TRAINER !

L'appareil est systématiquement identifié dans le logiciel par le terme « **luxmeter** » (au sens large). Ce n'est à proprement parler un « **luxmètre** » que si on utilise la **sonde PHOT** (mesures en lx). Sinon c'est un « **radiomètre** » lorsqu'on utilise la **sonde RAD** (mesures en $W.m^{-2}$).

Acquisition avec le « luxmètre » HD2102-2 non connecté au PC

Préréglage du matériel :

- Brancher la sonde **LP 471 RAD** et mettre en marche le HD2102-2 (« ON/OFF »).
- La sonde RAD est reconnue **automatiquement** et l'appareil indique l'unité $W.m^{-2}$ (sous la forme W/m^2)**.**

Réalisation de l'enregistrement :

- Appuyer sur la **touche « LOG ».** Immédiatement l'appareil réalise un enregistrement d'une valeur toutes les secondes.
Remarquer le « bip » régulier.

- Enregistrer pendant quelques secondes puis arrêter l'enregistrement en appuyant à nouveau sur la **touche « LOG »**.
Remarquer l'arrêt immédiat des mesures.

Communication du « luxmètre » avec le logiciel DeltaLog9 :

Préalable :

- Le PC est déjà en marche ! Le logiciel **« DeltaLog9 »** est exécuté.
- L'appareil Delta-Ohm est relié en façade du PC avec le câble USB.

Reconnaissance du « luxmètre » par DeltaLog9 :

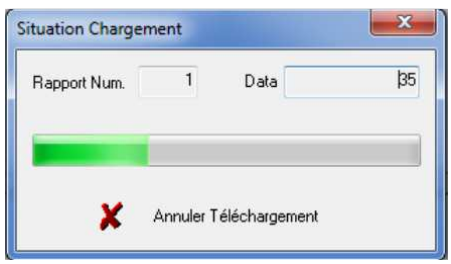
Cliquer sur « Connect »

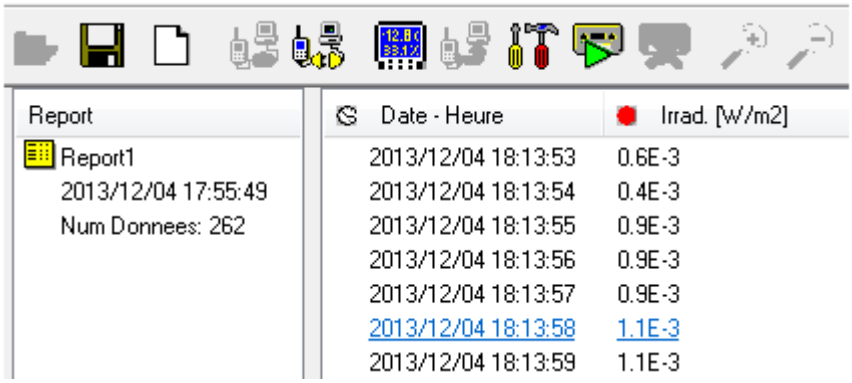
- Après un délai +/- long, le « luxmètre » est détecté.

Test d'export des données du « luxmètre » vers le PC avec DeltaLog9 :

- Cliquer sur « Chargement données sur PC »

- Patienter jusqu'au chargement complet.



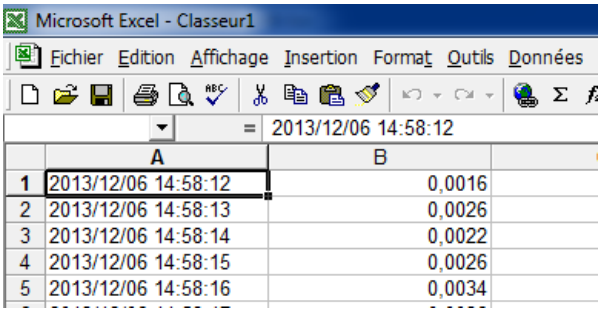


Les séries de données sont regroupées dans des « Reports ». Une « série » est constituée des acquisitions mémorisées entre deux appuis sur la touche « LOG ». Chaque série d'acquisitions présente en mémoire dans le boîtier génère un « Report » lors de l'export.

Utilisation des données dans DeltaLog9

- Les valeurs du « report » sélectionné sont affichées dans la table.
- Remarquer plus bas le graphe automatique des données du « report » sélectionné, enregistrées en fonction du temps. L'appareil est un « enregistreur de données » (« data logger » en anglais).

- L'option exporte la série de données dans un fichier **au format Excel**. Le logiciel Excel s'ouvre automatiquement. Il ne reste plus qu'à enregistrer le fichier « nom_choisi.xls ».
Ce fichier sera exploité par la suite dans le tableur CALC.

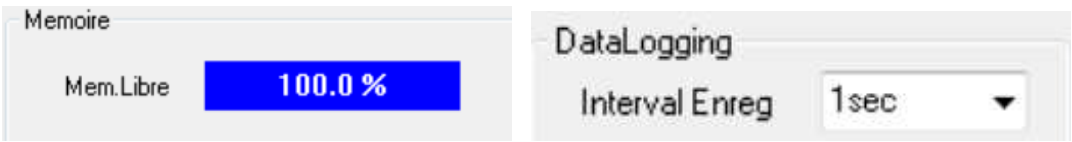


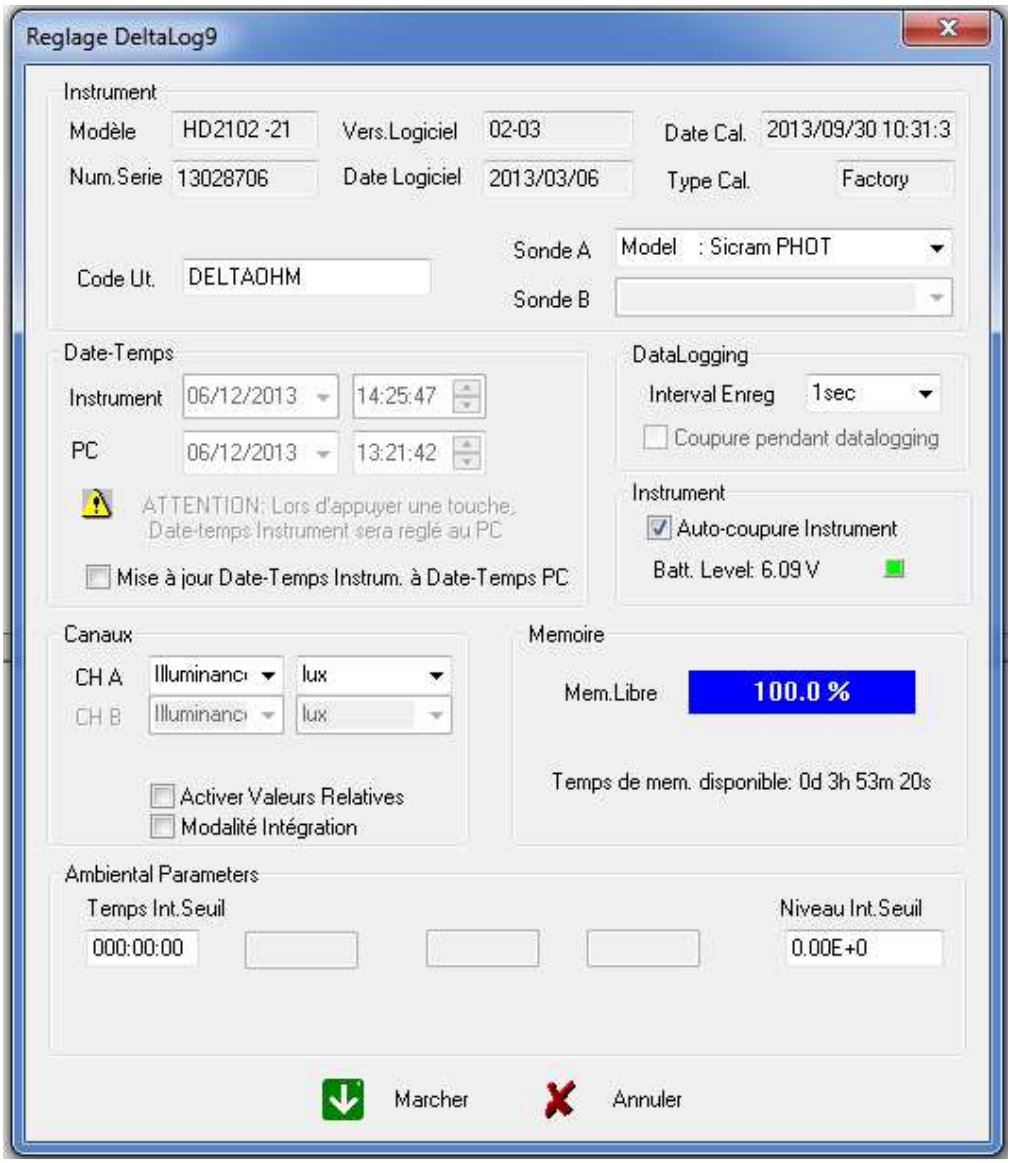
Test de vidage de mémoire

- Utiliser le menu : Instrument/Annuler Mémoire Instrument. Confirmer.

- Vérifier l'état de la mémoire avec

Patienter et consulter la fenêtre (ex de fenêtre complète à la page suivante)





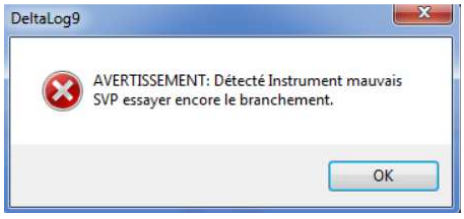
Test de déconnexion du « luxmètre »

Il faut déconnecter l'instrument pour que ses boutons de boîtier puissent être utilisés et fonctionnent correctement (« LOG » etc.).

- Le faire avec un clic sur « Débrancher »

Problème au changement de sonde

- On doit **arrêter** le « luxmètre » pour en **changer** la sonde !
- La nouvelle sonde ne peut pas être reconnue par le logiciel lors d'un changement « à chaud ».



- La sonde peut aussi ne pas être reconnue lorsque l'on reconnecte après le changement de sonde : le plus simple alors est de fermer DeltaLog9 et de le relancer à nouveau.

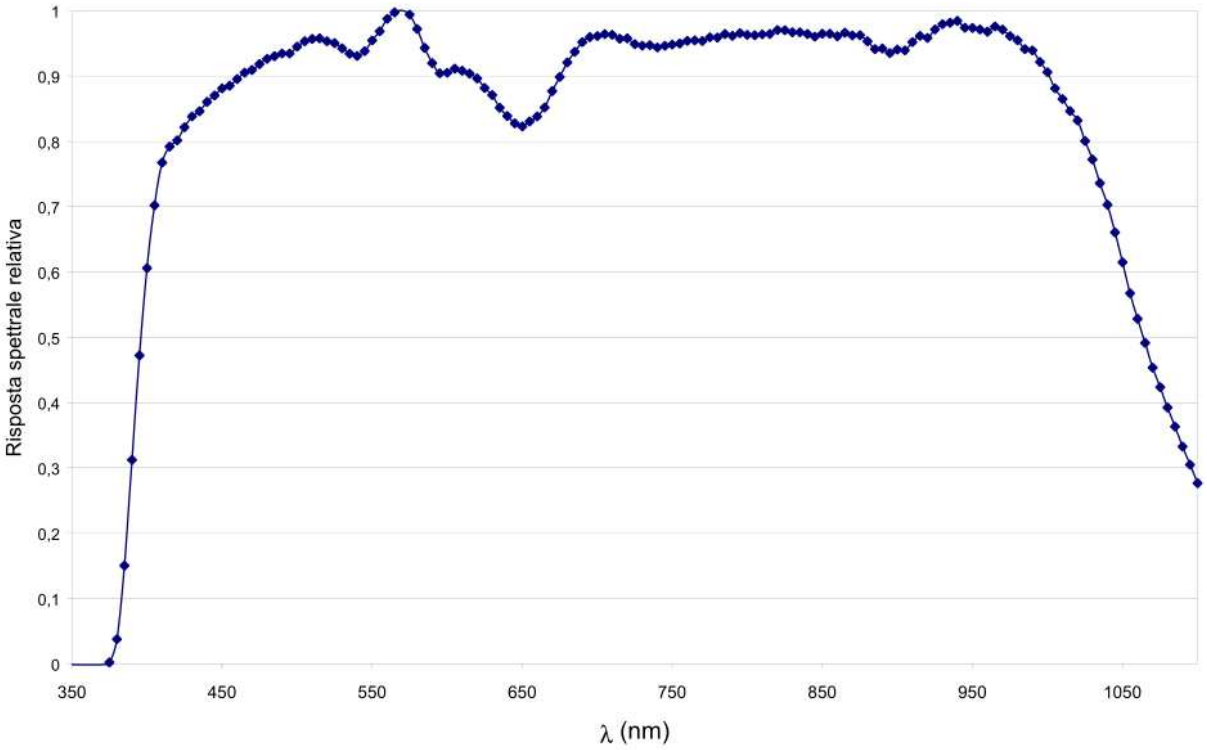
Annexe A3- Caractéristiques des sondes radiométrique LP 471 RAD et photométrique LP 471 PHOT

SONDE RADIOMETRIQUE LP 471 RAD

Sonde de mesure de l'IRRADIATION LP 471 RAD pourvue de module SICRAM en ligne avec l'instrument

Domaine de mesure (W/m^2):	$0.1 \cdot 10^{-3}$… $999.9 \cdot 10^{-3}$	1.000…19.999	20.00…199.99	200.0…1999.9
Résolution (W/m^2):	$0.1 \cdot 10^{-3}$	0.001	0.01	0.1

Domaine spectral:	400nm…1050nm
Incertitude de calibrage:	<5%
f'_1 (réponse comme loi du cosinus):	<6%
f_3 (linéarité):	<1%
f_4 (erreur sur la lecture de l'instrument):	±1digit
f_5 (fatigue):	<0.5%
Dérive à un an:	<1%
Température de fonctionnement:	0…50°C



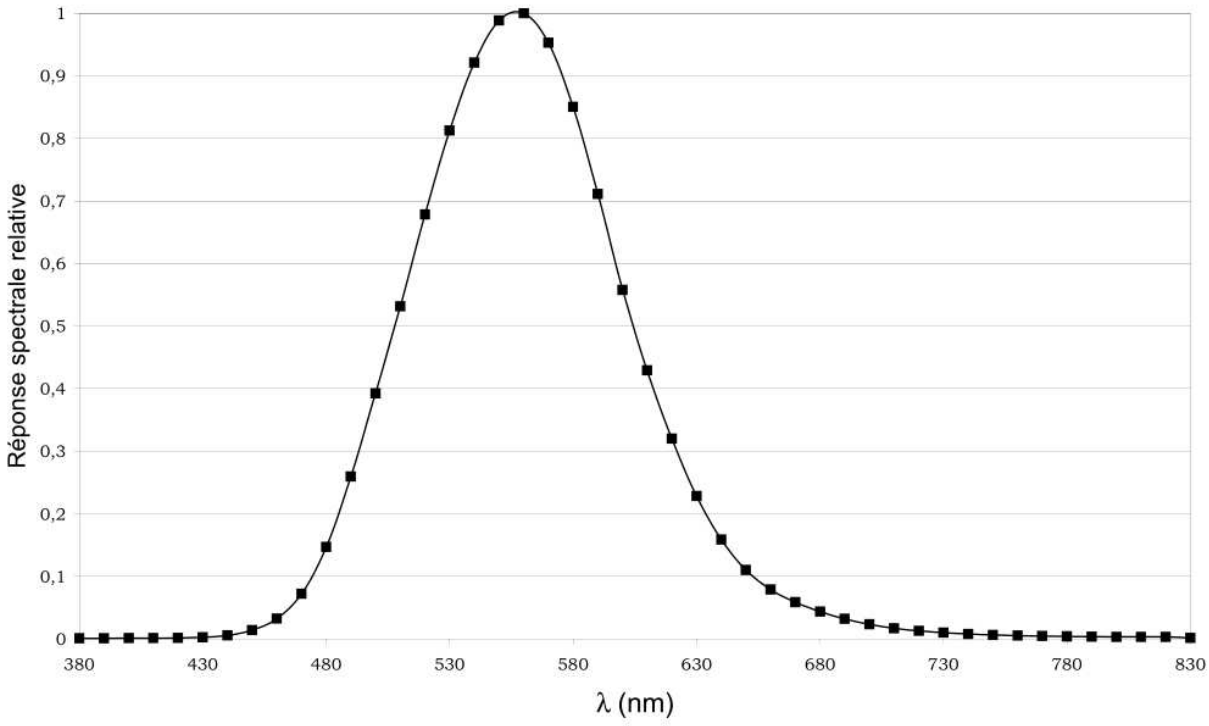
Extrait du Manuel d'instruction Delta-Ohm LP471 RAD (disponible sur le site Internet Delta-Ohm)

SONDE RADIOMETRIQUE LP471 PHOT

Sonde de mesure de l'ÉCLAIREMENT LUMINEUX LP 471 PHOT pourvue de module SICRAM en ligne avec l'instrument

Domaine de mesure (lux):	0.01…199.99	…1999.9	…19999	…199.99·10^3
Résolution (lux):	0.01	0.1	1	0.01·10^3

Domaine spectral:	en accord avec courbe photopique standard V(λ)
Incertitude de calibrage:	<4%
f'_1 (accord réponse photopique V(λ)):	<8%
f_2 (réponse comme loi du cosinus):	<3%
f_3 (linéarité):	<1%
f_4 (erreur sur la lecture de l'instrument):	<0.5%
f_5 (fatigue):	<0.5%
Dérive à un an:	<1%
Température de fonctionnement:	0…50°C
Norme de référence	CIE n.69

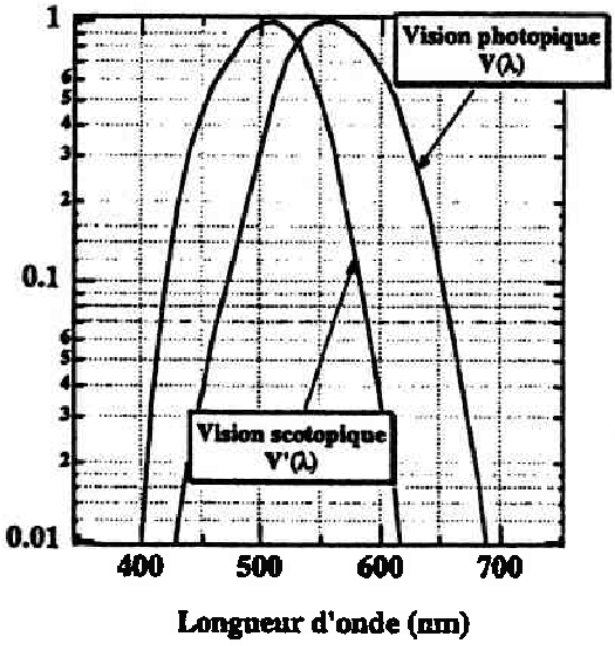


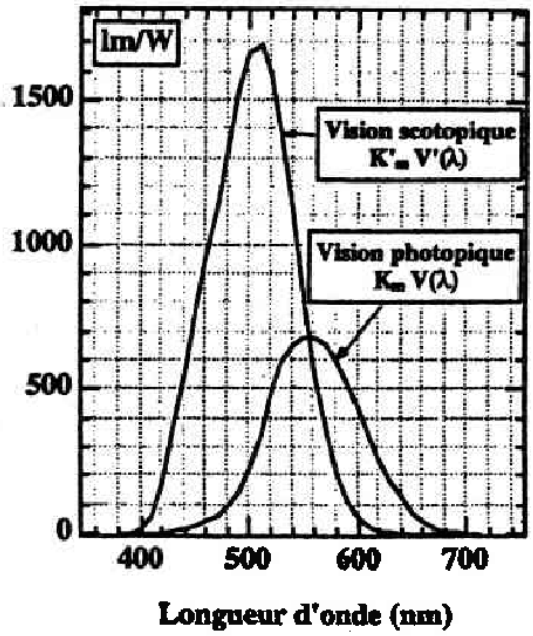
Extrait du Manuel d'instruction Delta-Ohm LP471 PHOT (disponible sur le site Internet Delta-Ohm)

Annexe A4- Caractérisation de l'œil standard CIE

Courbes de sensibilité spectrale de l'œil standard CIE

- L'observation d'un rayonnement se traduit pour un être humain par un ensemble de **stimulations visuelles interprétées par le cerveau** en termes de couleurs (**analyse des impressions colorées = colorimétrie**) ou de niveau sur une échelle d'importance (**analyse de la quantité de rayonnement = photométrie**)
  Ces impressions dépendent du sujet, de son âge, de sa fatigue, des conditions d'éclairage actuelles et antérieures (éblouissement, accoutumance) → la CIE (Commission Internationale de l'Eclairage) a défini, sur la base d'études statistiques, un « **observateur standard** »
- La **« vision de jour » (ou photopique)** est bien adaptée à des niveaux de **luminance ambiante important** (supérieure à 10 $cd.m^{-2}$) : elle met en jeu des détecteurs de la rétine appelés « cône » (il y en a de trois types qui permettent en général une bonne appréciation des couleurs). **Le maximum de sensibilité se situe à 555 nm.**
- La **« vision de nuit » (ou scotopique)** est bien adaptée à **des niveaux de luminance faible** (moins de 10^{-3} $cd.m^{-2}$) : elle met en jeu un autre type de détecteur appelé « bâtonnet ». Le maximum de sensibilité se situe à 510 nm.
- Les courbes de sensibilité spectrale relative V(λ) et V'(λ) décrivent précisément ces deux types de vision et permettent de comparer les impressions visuelles créent par des lumières monochromatiques.





Passage entre système énergétique et lumineux (unités visuelles)

Depuis 1978 le raccordement entre les deux systèmes est basé sur la vision de jour de l'œil moyen au maximum de la courbe V(λ) 683 lumen ↔ 1 watt pour λ = 555 nm

Pour un rayonnement monochromatique à λ donné, on a :

- En vision de jour (photopique) $\boxed{F_l(\lambda) = K_m\, V(\lambda)\, F_e(\lambda) \quad \text{avec } K_m = 683 \text{lm..W}^{-1}}$
- En vision de nuit (scotopique) $F_l(\lambda) = K'_m\, V'(\lambda)\, F_e(\lambda) \quad \text{avec } K'_m = 1703 \text{lm..W}^{-1}$

Annexe A5- Caractéristiques d'un module Laser C2025 vert : 532 nm

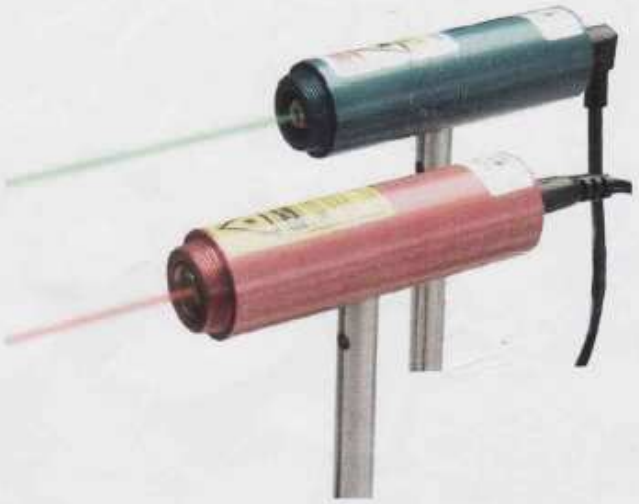
Modules lasers prêts à l'emploi

oVio

C2010 (DO2020) – C2011 – C2015 – C2016 – C2020 – C2025

Modules lasers collimatés compacts, en boîtier à haute résistance, livrés avec leur alimentation secteur

Existe en technologie diode laser (rouge à 650 et 635 nm) et en laser Yag doublé (vert à 532 nm). Tous les modules sont en classe II (avec adaptateur pour C2020), et émettent en continu.



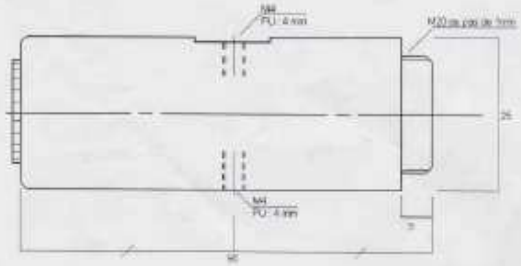


Schéma de la structure externe

Référence	C2010-C2011 (DO2020)	C2015-C2016	C2020*	C2025*
Emission	647-658 nm (rouge)	632-643 nm (rouge)	532 nm (vert)	532 nm (vert)
Technologie	Diode laser collimatée	Diode laser collimatée	DPSS 1064nm doublé 532 nm	DPSS 1064nm doublé 532 nm
Puissance d'émission	>0,8 - <1mW	>0,8 - <1mW	>1 - <5mW	>0,5 - <1mW
Catégorie	Classe II	Classe II	Classe IIIa	Classe II
Alimentation (fournie)	6-12V dc – 50 mA	6-12V dc – 50 mA	3V dc – 400 mA	3V dc – 400 mA
Divergence	<1mrad	<1mrad	<1,5mrad	<1,5mrad
MTBF	5000hrs	5000hrs	7000hrs	7000hrs
Temp. D'utilisation	-30°C à +50°C	-30°C à +50°C	+18 à +35°C	+18 à +35°C

**Attention ! Le fonctionnement des modules 532 nm est fortement dépendant de la température. Le démarrage et la stabilisation de la puissance peut nécessiter jusqu'à 2 minutes.*

Source : oVio Optics

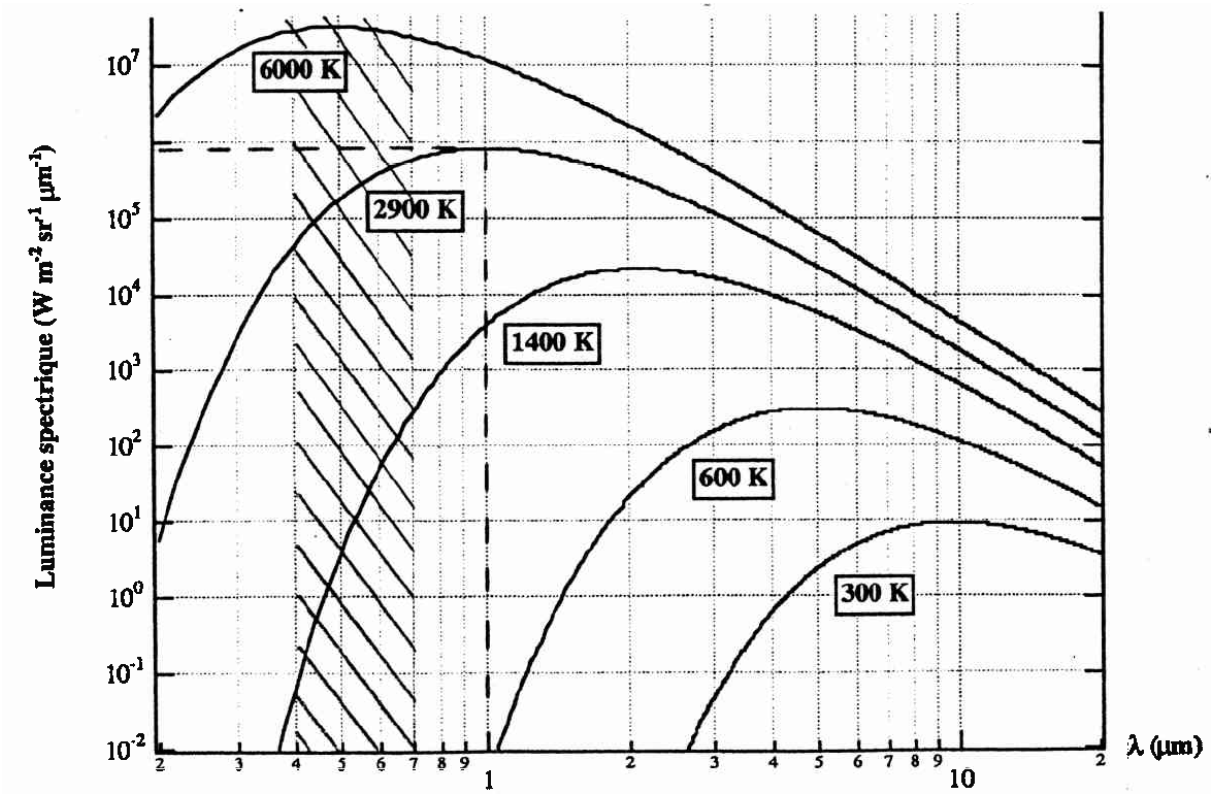
Annexe A6- Luminance spectrique d'une lampe à incandescence halogène

La lampe à incandescence utilisée dans la lanterne est une ampoule à filament de tungstène (W) contenant une faible quantité d'iode vaporisée. Ce gaz a la propriété de limiter à haute température la vaporisation du métal et de favoriser la reconstitution du filament au refroidissement (augmentation de la durée de vie de la lampe).

Le métal tungstène a la particularité d'avoir le plus haut point de fusion, soit $T_{f\,W}$ = 3695 K = 3422°C des métaux employables.

Le filament de ces lampes est typiquement chauffé vers 3000 K.

Le spectre lumineux est riche en lumière jaune, orange et rouge mais pauvre en violet, bleu et vert. La lumière émise est dite « chaude » par les éclairagistes.



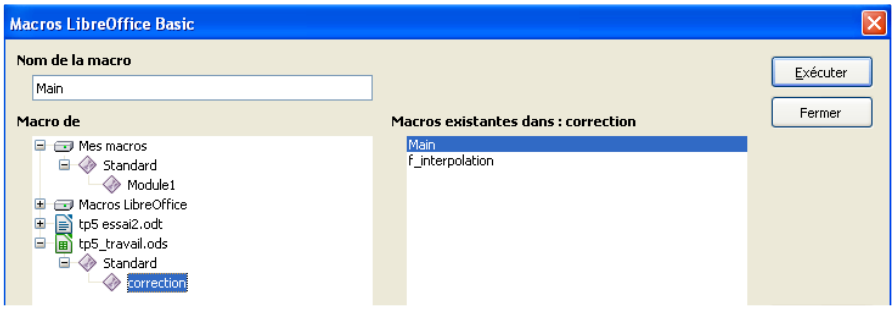
Luminance spectrique d'un corps noir (unité énergétique)

Annexe A7- Exécution d'une macro dans CALC

Exécution par le MENU :

- Outils/Macros/Exécuter la macro…
- Développer l'arborescence
- Sélectionner : f_interpolation
- Exécuter

Cela prend un peu de temps : suivre l'avancée du calcul sur le graphe.



Ou aussi Exécuter la macro « f_interpolation » avec le raccourci clavier : Ctrl+Maj+M

Associer un raccourci-clavier à une macro

- Menu : Outil/Personnaliser
- Choisir l'onglet « Clavier »
- Sélectionner la catégorie « Macro »
- Développer l'arborescence : tp5_travail.ods\standard\correction
- Choisir la macro associée : f_interpolation
- Choisir le raccourci-clavier à associer dans la liste proposée : ici « Ctrl+Maj+M »
- Cliquer sur « Modifier » puis « OK »

Source de la technique
http://www.commentcamarche.net/contents/1375-executer-une-macro

TP6-
ETUDE DU SPECTRE D'EMISSION D'UNE SOURCE POUR L'ECLAIRAGE

PRESENTATION **1**

0- TRAVAIL PREPARATOIRE à faire avant le TP **1**

1- UTILISER UN MONOCHROMATEUR **2**

2- REPONSE DU RADIOMETRE AU RAYONNEMENT DE LA LED EN FONCTION DE λ **4**

3- REPONSE DU LUXMETRE AU RAYONNEMENT DE LA LED EN FONCTION DE λ **7**

4- ANALYSE METROLOGIQUE **8**

5- MAQUETTE D'UN MONOCHROMATEUR **9**

ANNEXES **9**

Annexe A1- Liste du matériel utilisé **9**

Annexe A2- : Exercice d'acquisition avec « luxmètre » et logiciel delta-log9 ..... **10**

Annexe A3- Caractéristiques des sondes radiométrique LP 471 RAD et photométrique LP 471 PHOT **13**

Annexe A4- Caractérisation de l'œil standard CIE **15**

Annexe A5- Caractéristiques d'un module Laser C2025 vert : 532 nm **16**

Annexe A6- Luminance spectrique d'une lampe à incandescence halogène **17**

Annexe A7- Exécution d'une macro dans CALC **18**

Ouvrir une session sur l'ordinateur :
Utilisateur : **etmp**
Mot de passe : **mesures**